

強い相互作用の対称性

著者	高木 富士夫
号	106
発行年	1966
URL	http://hdl.handle.net/10097/23185

氏名・(本籍)	たかぎ ふじお 高 木 富 士 夫
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 1 0 6 号
学位授与年月日	昭和 4 1 年 3 月 2 5 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 物理学専攻
学位論文題目	強い相互作用の対称性
論文審査委員	(主査) 教授 中 林 陸 夫 教授 佐 藤 岩 男 教授 堀 江 忠 児 助教授 板 橋 清 己

論 文 目 次

- 〔第 1 章〕 序
- 〔第 2 章〕 こわれた $SU(3)$ 対称性のもとでの DBP・BBP 結合常数に対する力学的模型
- 〔第 3 章〕 湯川型中間子-重粒子相互作用の hypercharge 保存について
- 〔第 4 章〕 S 波のユニタリー多重項に対する Gell-Mann - Okubo の質量公式の妥当性
- 〔第 5 章〕 K 中間子-核子散乱に対するベクトル中間子の影響
- 〔第 6 章〕 中間子-重粒子散乱振巾における S 波仮想状態の存在可能性
- 〔第 7 章〕 粒子の複合性を表わす条件

論文内容要旨

第1章 序

最近数年間の素粒子論の分野における最大の出来事は素粒子の内部対称性の発見である。特に坂田模型に端を発し、Gell-MannとNeemanによつて改良されたSU(3)対称理論は、現象論的に素粒子を分類し、その質量その他の性質をよく説明するものとして、ほとんど確立された様に見える。ここに至つて次の2つの問題が生ずる。

- (i) 対称性特にSU(3)対称性の起源。
- (ii) SU(3)対称性の破れ方とその原因。

これらの問題及びそれに関連した問題についての研究結果を第2章以下6つの章に分けて論ずる。第2章及び第3章は未公表の最近の研究結果であり、本論文の主な部分を成す。第4～7章は博士課程においてそれ以前に研究し、既に公表した論文のあらましである。

第2章 こわれたSU(3)対称性のもとでのDBP, BBP結合常数に対する力学的模型

SU(3)理論が実際に成功した原因の1つは、SU(3)対称性が質量において特定の仕方で少しこわれていて、その為に質量公式がうまく粒子の観測される質量分裂を説明できたからだつた。質量においてこわれている以上、この対称性は相互作用においてもこわれていると考えるのが自然である。事実DBP及びBBP結合常数を考える場合、次の様な実験事実は相互作用がSU(3)不変だとすると説明できない。(ここでDは $J^P = \frac{3}{2}^+$ 重粒子10重項、Bは $\frac{1}{2}^+$ 重粒子8重項、Pは $\bar{0}$ 中間子8重項)

- (i) $N^*N\pi$ 結合常数が他のもの($Y_1^*\Sigma\pi$, $Y_1^*\Lambda\pi$, $\Xi^*\Sigma\pi$)に比べて大きい。
- (ii) 崩壊の分岐比($Y_1^*\rightarrow\Sigma\pi$)/($Y_1^*\rightarrow\Lambda\pi$)が非常に小さい。
- (iii) $N\Lambda K$ 及び $N\Sigma K$ 結合常数の値がかなり小さい。

そこで質量公式を出した時と同じ精神で、相互作用においても対称性が特定の仕方でこわれていると仮定して、いろいろの結合常数に対するsum ruleを純群論的に求めるといふ事は既になされた。この時、結合常数の対称性極限の値からのずれを表わすパラメーターが沢山導入されるので、上記の実験事実を説明できる余地が生ずるが、これらのパラメーターの値は群論的考察だけでは決まらない。パラメーターの値を理論的に決めるには何らかの力学的模型を考えねばならない。

対称性とその破れを論ずる力学的模型の1つにブーツトラップ模型がある。これは一口に言えば「強い相互作用をする粒子は互に他のいくつかの粒子から成る複合粒子である」と考える力学的仮説である。我々はブーツトラップ模型から出てくる3次のvertexに対するself-consistencyの条件を用いて、DBP及びBBP結合常数のずれを同時にself-consistentに求める。質量及び結合常数における対称性のこわれはSU(3)の8重項の $T=Y=0$ 成分(T はisotopic spin, Y はhypercharge)と同じ変換性をもつ事を仮定するから、得られる結合常数はGupta-Singh及びMuraskin-Glashowのsum ruleを満たす。ブーツトラップ模型のうちではレシブローカルブーツトラップ模型が最も成功しているという観点から次のdiagramを考える。

DBP 結合常数についてはB交換 (a 図) の寄与が主であるがD交換 (b 図) の寄与も前者の約 20%位となるのでこれを考慮する。BBP 結合常数についてはB交換 (d 図) の寄与はD交換 (c 図) の寄与の数%と推定されるのでこれを無視し、c 図だけをとる。

これらのdiagramについて self-consistency の条件を課すると、結合常数と粒子の質量との間の関係式が得られる。この関係式に対して対称性の極限で解が存在すると仮定すると、BBP 結合におけるF結合とD結合の比 $F/D = (1 - \sqrt{6})/3 \approx -0.483$ を得る。

次に self-consistency の条件を満たしながら対称性が少しこわれたとする。即ち相互作用にはSU(3)不変でない部分がつけ加わり、同じ既約表現に属する粒子の質量は分裂する。この時質量及び結合常数のずれが充分小さいとすると、それらの間の9つの一次関係式が得られる。質量のずれについて観測値を代入すると、これらは結合常数のずれを表わす9つのパラメーターを未知数とする独立な9つの連立一次方程式になる。従つて唯一の解が存在する。vertexの散乱部分(D及びB交換)の寄与はstatic pole 近似で求め、これを用いてvertex函数を計算する時logの発散が生ずるのでcut offする。cut off energyは $N^* N \pi$ 及び $NN\pi$ 結合常数が観測値に一致する様に決める。

連立一次方程式を数値的に解いた結果は実験事実(i)及び(iii)を定性的に説明する。その点において我々の計算結果はWaliとWarnockその他の人々によつてそれぞれ異なる近似異なる方法で求められている計算結果と定性的に一致する。実験事実(ii)の説明には失敗する。

第3章 湯川型中間子—重粒子相互作用のhypercharge保存について

—荷電保存とShmushkevichの原理からhypercharge保存を導出できるか？

強い相互作用の対称性を考える場合、普通とは逆に、先にいくつかの超多重項の組を与えて、それらの間の相互作用の対称性としてどのようなもの、どのような群が得られるか、という問題も興味ある問題として成立する。この問題に関連して我々は「荷電保存とShmushkevich原理からhypercharge保存を導出できるか？即ちhypercharge Yを保存しない相互作用を禁止できるか？」という問題を調べた。

結論は

- (i) 実験的に見出されている重粒子($N, \Lambda, \Sigma, \Xi, N^*, \Omega$)と中間子(π, K, η)との間のYを保存しない湯川型相互作用はすべて禁止される。
- (ii) しかし仮想的な中間子を考えると容易に反例を作る事ができるので、一般には荷電保存の仮定とShmushkevichの原理だけでY保存を導出する事はできない。

第4章 S波のユニタリー多重項に対するGell-Mann-Okuboの質量公式の妥当性

SU(3)対称性理論においてGell-Mann-Okuboの質量公式が実際に存在する粒子D, B, Pなどにうまくあてはまるのは、これらの粒子がP波の束縛状態又は共鳴状態であるからだと考えられる。しかし仮にS波のユニタリー多重項が存在すれば、これに対しては一般にGell-Mann-Okuboの質量公式をそのまま適用する事はできず、適当な補正を考慮すべきである事が簡単な考察によつて判る。

第5章 K中間子—核子散乱に対するベクトル中間子の影響

ベクトル中間子の交換が低エネルギーのK中間子—核子散乱に主に効くとしてその影響を調べると、Sakuraiのベクトル中間子理論及びSU(3)対称性と矛盾しない結合常数の値を用いて実験値

の主な特徴を説明できる事が判る。

第6章 中間子一重粒子散乱振巾におけるS波仮想状態の存在可能性

複素エネルギー平面での通常の解析性を仮定すると、いくつかの中間子一重粒子散乱振巾にS波 ($\frac{1}{2}^-$) の仮想状態が存在し得る事が判る。これらはさらに $T=Y=0$ 成分が存在すれば丁度SU(3)の8重項になる。

第7章 粒子の複合性を表わす条件

N/Dの方法との関連において複合粒子又は複合粒子を有する散乱振巾を指定する条件としては $Z_3=0$ だけでは不十分である事が簡単な模型で示される。 $Z_3=0$ に加うるに $Z_1=0$ という条件を課せば充分である事が判る。但し Z_3 は波動函数の、 Z_1 は vertex 函数のくりこみ常数である。

尚、第4、5、6、7章の内容の詳細はそれぞれ順に

- 1) F. Takagi, Prog. Theor. Phys. **31** (1964), 1169 ;
- 2) T. Akiba and F. Takagi, Prog. Theor. Phys. **32** (1964) 242 ;
- 3) F. Takagi, Prog. Theor. Phys. **32** (1964), 778 ;
- 4) F. Takagi, "Connection between $Z_3=0$ Formalism and the N/D Method for Composite Particles", preprint. 及び関連文献 T. Akiba, S. Saito and F. Takagi, Nuovo Cimento **39** (1965) 316 ;

に掲載された。本論文には上記文献1), 2), 3)の別刷及び文献4)のうち自著のpreprintを添付する。

論 文 審 査 要 旨

この学位論文：強い相互作用の対称性は7章からなる。第1章序では問題を提起する。第2章はこの論文の主な部分であつて、 $SU(3)$ 対称性理論による10重項に属する重粒子Dと8重項に属する重粒子Bと8重項に属する中間子Pとの間の相互作用常数が対称性がこわれたときどれ位ずれるかをしらべた。これは群論的考察だけからきまらないので著者は力学的模型としてbootstrap model をとり、DBPおよびBBPの3次のVertexそのものが結合常数を与えるという自己無撞着条件を課する。各多重項内の粒子の質量に実測値を挿入し、結合常数の対称性極限值からのずれは小さいとした。またvertexの散乱部分のきよは静的pole近似で求め、これによる対数発散は $NN\pi$ 、 $N^*N\pi$ の結合常数が観測値に一致するように切断した。この模型から F/D 比の値が定まるが、これはWali-Warnockが散乱振幅に対するbootstrap条件からえた値と一致している。更に $N^*N\pi$ 結合常数が他のもの(例えば $Y_1^*\Sigma\pi$ 間のもの)にくらべて大きいこと、 $N\Lambda K$ 、 $N\Sigma K$ 結合常数がかなり小さいという事実を定性的に説明しえたが、 Y_1^* の $\Sigma\pi$ 崩壊が $\Lambda\pi$ 崩壊より非常に少い事実の説明はできなかつた。けれどもこの問題に対する今までのいくつかの試みにくらべてS行列理論で重要な思想として導入されたbootstrap機構にそつて展開した最も正道的なものと認められ、極めて興味ある仕事と考える。第3章は湯川型中間子と重粒子との相互作用に関して荷電保存とShmushkevich原理とからhypercharge保存ができるかについて否定的結果をうることを示した。第4章ではS波のユニタリ多重項が存在するなら著名な対称理論の質量公式は補正を要すること。第5章ではK中間子-核子散乱に対するベクトル中間子の効果を見、第6章は中間子-重粒子散乱振幅の性質からS波の仮想状態の存在可能性を論じたものである。第7章では粒子が複合的である条件をしらべ、くりこみ常数 $Z_3=0$ だけでは足りず、 $Z_1=0$ を加えて充分となることを示した。これは粒子の素粒子性と複合性の問題に関する興味ある知見と認める。

以上により高木富士夫の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。